

## 嫌気性及び好気性処理の併用による高濃度有機性, 工場排水の効率的処理に関する研究

著者	沈 振 寰
号	1651
発行年	1995
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/10458">http://hdl.handle.net/10097/10458</a>

氏 名	Shen 沈	Zhen 振	Huan 寰
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )		
学 位 授 与 年 月 日	平 成 8 年 1 月 10 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 2 項		
最 終 学 歴	昭 和 38 年 8 月 中国無錫輕工業学院 (現 大学) 食品工学科卒業		
学 位 論 文 題 目	嫌気性及び好気性処理の併用による高濃度有機性工場排水の効率的 処理に関する研究		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 野池 達也	東北大学教授 須藤 隆一	
	東北大学教授 西野 徳三	東北大学助教授 李 玉 友	

## 論 文 内 容 要 旨

中国では、近年の高度経済成長に伴い、汚染物質や廃棄物の排出量は急激に増大し、環境に大きな負荷を与えるようになった。とりわけ、都市および工場排水の排出による水質汚濁が深刻化しつつある。1993年における全国の工場排水の総排出量は219億トンにも達している。その中で食品・飲料・タバコ製造業及び製紙と紙製品の工場排水からの年間COD（重クロム酸カリウム法、以下同じ）排出量（1993年度）はそれぞれ1,565,000トン及び2,418,000トンに達しており、水質汚濁をもたらす最も重要な汚濁源として注目されている。これらの排水は高濃度の有機物質を含有し、しかもその排出量が近年急激な伸びを示している。従って、これらの排水を効率的に処理できるプロセスの開発が早急に必要とされている。

今日、有機性排水の経済的・実用的プロセスとしては微生物の浄化能力を応用した生物学的処理法が主流であり、活性汚泥法を代表とする好気性処理法とメタン発酵を代表とする嫌気性処理法に大別される。前者は好気性微生物の代謝能力を利用して、酸素を供給することによって排水中の有機物を二酸化炭素と水に酸化させるプロセスであり、後者は無酸素の条件下で嫌気性細菌の発酵能力を利用して有機物をメタンと二酸化炭素に分解するプロセスである。その中で、嫌気性処理法は高濃度有機性処理のためのエネルギー消費を低減できるばかりでなく、処理過程で生成するメタンガスをエネルギー源として有効利用できるのも、省資源・省エネルギー型排水処理法として世界的に注目を集めている。近年、嫌気性接触法、嫌気性ろ床法、UASB法、ハイブリット型反応槽及び二相消化法などの新世代型高速メタン発酵プロセスの開発により、工場排水処理における嫌気性処理法の応用実績は確実に増えつつある。

近年における地球環境問題への対応や中国のような発展途上国の経済的実情など考慮して、中国の産業状況及び環境保全政策に適用できる排水処理プロセスの要件として次のことが挙げられる。

- (1) 有価資源の経済的再利用を優先的に考えること；
- (2) 省エネルギーのための工夫を行うこと；
- (3) 汚泥など二次汚染物質の生成量を最小にすること；
- (4) ショックロードに強く、運転管理が容易であること；
- (5) 放流水の水質は環境基準を満たすこと。

これらの要件を満たす排水処理システムとしては、高濃度有機性排水に対して、まず嫌気性処理を実施してメタンの回収、維持管理費の節約、汚泥生成量の減少を図り、そして嫌気性処理だけで水質基準をクリアできない場合、嫌気

性処理水に対してさらに好気性処理を実施する。そのために、嫌気性及び好気性処理法の組み合わせを合理的に行うことで、双方の長所を活用し、それぞれ生かす工夫が必要である。この目標を実現し、様々な工場排水処理への対応を可能とするためには、これまで報告された嫌気性処理プロセスの評価、改良及びハイブリット化が重要であると同時に、嫌気性消化液に対する活性汚泥法の処理特性を把握することも不可欠である。

本研究は、アミノ酸系排水、製紙パルプ廃液及びアルコール廃液に対する各種嫌気性処理反応槽の処理性能について室内及びパイロットプラント実験によって解明し、比較検討を行うことにより、各種工場排水に適した嫌気性処理プロセスを提案しようとするものである。また、処理水質を向上するために、好気性活性汚泥法による嫌気性処理水の処理特性についても実験的研究を行った。さらに、本研究より得られた基礎的データを基に、嫌気性・好気性反応槽の組合せによる高濃度有機性工場排水の処理システムにおけるエネルギー及び物質収支についても検討を行った。

本論文の内容は次の通り、6章より構成されている。

第1章「総論」では、本研究の背景、意義および目的について述べている。

第2章「高濃度有機性工場排水処理プロセスに適用する高効率処理技術の開発」では、嫌気性処理法と好気性処理法の長所・短所について概説し、有機性工場排水処理プロセスとしてのメタン発酵法の技術開発の沿革と現在用いられているプロセスの実態について総説した。次いで、中国で直面している排水処理問題と関連させ、今後の技術開発に関する研究課題を整理し、本研究の位置付けと目的を明らかにした。

第3章「アミノ酸系排水の嫌気性ろ床及び嫌気性ハイブリッドリアクター処理における性能比較」では、アミノ酸を主成分とする有機性工場排水に対する嫌気性ろ床と嫌気性ハイブリッドリアクターの処理特性を比較検討し、さらに、同排水中に含まれる高濃度の塩素イオンによる嫌気性処理への阻害作用、グラニューールの細菌構造を明らかにした。実排水を用いて嫌気性ろ床およびハイブリッドリアクターによるアミノ酸系排水の中温嫌気性処理結果について比較検討を行い、以下の結論が得られた。

- (1) 嫌気性ろ床プロセスでは流入水COD濃度 $22000\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ 以下、HRT3日以上、COD負荷 $6.0\text{kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 以下の運転条件においてBODおよびCOD除去率はそれぞれ90%および85%に達した。嫌気性ハイブリッドリアクターである上向流式スラッジブランケットフィルタープロセスでは流入水COD濃度 $20000\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ 前後、HRT2.0日以上、COD負荷 $12.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 以下の運転条件においてBODおよびCOD除去率はそれぞれ86%および82%以上であった。
- (2) 嫌気性ハイブリッドリアクターの最高COD負荷は $12.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ で、嫌気性ろ床の $8.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ に比較して50%程度高かった。COD負荷が $8.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 以下の条件では、2種類の反応槽におけるガス生成量はほとんど同一であり、流入COD1kg当たり $0.5\text{m}^3$ 程度であった。消化ガスにおけるメタンの含有率は60%であった。
- (3) アミノ酸系排水に含まれる高濃度の塩素イオンは嫌気性処理に阻害作用を及ぼすため、流入水中のCl濃度は $6,250\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ 以下にコントロールする必要がある。
- (4) 嫌気性ハイブリッドリアクターだけでなく、嫌気性ろ床の底部にも直径 $0.5\sim 3.0\text{mm}$ のグラニューールが形成された。グラニューールの細菌相は分層構造が見られ、中心部分はほとんど“*Methanothrix*”によって構成されていた。

第4章「高温二相嫌気性消化法によるメタン発酵の高効率化」では、まず草原料パルプ廃液に対する中温と高温単相消化の連続実験を行い、それぞれの条件における有機物の除去、メタンガスの生成量及び最大COD負荷率を比較して、高温消化の利点を明らかにした。その上で、高温単相消化と二相消化の性能を比較するため、実排水を用いた連続実験を行い、二相消化法の優れた処理性能を見出した。さらに、草原料パルプ廃液に対する高温二相消化法のパイロットプラント実験を通して、その適用性を実証している。本章を通して得られた主な結論は次の通りである。

- (1) ケモスタット型反応槽を用いた室内実験では、中温処理の最大許容負荷が $2.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ であったのに対して高温処理の最大負荷が $4.2\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 程度であった。即ち、高温消化の最大負荷は中温消化のその2倍程度であった。
- (2) 同一のCOD負荷条件におけるCOD除去率を比較すると、二相消化の方が単相消化より8~10%程高かった。

また、二相処理プロセスにおけるトータル及びメタンガス生成量は単相処理プロセスに比べ、約15%増加した。さらに、最大COD負荷を比較すると、単相消化は $5.0\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 程度であったのに対し、二相消化の場合は $8.6\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ であった。単相消化に比較して、二相消化の方が優れた処理性能を有することが明らかとなった。

- (3) 高温二相嫌気性消化法による半化学法パルプ廃液の処理特性について2ヶ月半ほどパイロットプラント実証研究を行った結果、COD濃度 $35000 \sim 80000\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 、BOD濃度 $10000 \sim 30000\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 、SS濃度 $20000 \sim 60000\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ の草パルプ廃液を高温二相嫌気性消化法で処理した場合、投入COD負荷は $7.0\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ までに高めることができた。また、投入COD負荷を $4.0\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ から $7.6\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ までに変化させてもCODとBODの除去率はいずれも80%以上であった。消化ガス発生倍率は投入排水1 m<sup>3</sup>当たり12.5 m<sup>3</sup>程度であった。

消化ガス中のメタン含有率は61~71%であった。

第5章「ANAMET嫌気性-好気性プロセスの実証研究及び性能評価」では、嫌気性消化法と好気性活性汚泥法を組合せることによって双方の利点を生かす処理システムの開発と評価を行っている。まず、高濃度の固形物が含まれるアルコール廃液の処理を例として、嫌気性接触法の適用性とその処理性能を明らかにした。そして、連続実験を通して好気性活性汚泥法による嫌気性消化液の処理特性および最適操作条件について検討を行った。また、本研究より得られたパイロットプラント結果に基づいて、ANAMET嫌気性-好気性プロセスにおける物質収支及びエネルギー収支を検討し、同システムの優れた処理性能を明らかにした。本章を通して得られた主な結論は次の通りである。

- (1) 第一段階の嫌気性接触法ユニットでは、COD濃度約 $52000\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 、BOD濃度 $26000 \sim 34000\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 、SS濃度 $17000 \sim 20000\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ の個体物の多い高濃度アルコール廃液に対して、消化温度 $53 \sim 55^{\circ}\text{C}$ 、水理学的滞留時間4~5日、容積負荷 $9.11 \sim 11.7\text{kg-COD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ の条件でメタン発酵を行った結果、BOD除去率87%、COD除去率82~83%の高い処理効率を得られた。また、消化ガス生成率は $612\text{m}^3 \cdot \text{投入kg} - \text{VS}^{-1}$ または $0.5\text{m}^3 \cdot \text{投入kg} - \text{COD}^{-1}$ であり、その内メタンガスの含有率は55~57%であった。
- (2) ANAMETプロセスの第二段階の好気性活性汚泥法ユニットにおいて、標準活性汚泥法を用いて消化液の上澄水を処理する場合の最適流入水COD濃度、最適負荷および最適汚泥日令はそれぞれ $2000 \sim 3000\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 、 $0.50 \sim 1.10\text{kg} - \text{COD} \cdot \text{kgMLSS}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $0.19 \sim 0.37\text{kg} - \text{BOD} \cdot \text{kgMLSS}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ) および8~15日の範囲にある。このような条件ではBOD除去率85%以上、COD除去率75%以上の処理効率を得られ、汚泥容量指数SVIは50以下に安定している。 $0.76\text{kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ の負荷条件におけるNH<sub>3</sub>-N、T-N、リンおよび臭気の除去率はそれぞれ83%、75%、49%および98%であった。また、同負荷条件における余剰活性汚泥の生成率は $0.46\text{kg-SS} \cdot (\text{kg-BOD removed})^{-1}$ であった。
- (3) ANAMET嫌気性-好気性処理の全プロセスにおいてBOD、COD、全窒素および全リンの除去率はそれぞれ98%、96%、87%および64%に達している。また、ANAMET嫌気性-好気性活性汚泥法プロセスは、汚泥発生量が少なく、運転操作が簡単で、しかもメタンガスを多く生成するエネルギー生成型システムであり、個体物を多く含有する高濃度排水の処理に適するものと考えられる。

第6章「総括および結論」では、本研究を通して得られた成果を総括している。

## 審査結果の要旨

近年における地球環境問題や発展途上国の経済的実情に対応する排水処理法の要件として、省資源・省エネルギー的であること、有価資源の経済的回収が可能であること、汚泥生成量が最小であること、運転管理が容易であること、および放流水の水質改善を達成することなどが挙げられる。本論文は、各種高濃度有機性工場排水に適する嫌気性処理プロセスを選定し、処理水質向上のために活性汚泥法を組合せた効率的処理システムの構築に関して、室内およびパイロットプラント実験により検討したもので、全編6章からなる。

第1章は「総論」であり、本研究の背景および目的について述べている。

第2章では、有機性工場排水処理法としての嫌気性処理法の技術開発の沿革と現在用いられてるプロセスの実情について総説した。次いで、中国で直面している排水処理問題と関連させて技術開発に関する研究課題を整理し、本研究の位置付けと目的について述べている。

第3章では、アミノ酸を主成分とする有機性工場排水に対する嫌気性ろ床および嫌気性ハイブリッドリアクターの処理特性の比較を行うとともに、同排水中に含有する高濃度の塩素イオンによる嫌気性処理への阻害作用およびグラニューールの細菌構造を明らかにした。さらに嫌気性ハイブリッドリアクターでは、嫌気性ろ床と比較して50%程度大きい最大COD負荷が得られることを示している。これは重要な知見である。

第4章では、草原料パルプ排水に対する中温および高温単相消化連続実験を行い、それぞれの温度条件における有機物除去、メタンガス生成量および最大COD負荷量を比較して、高温消化の利点を明らかにしている。さらに、高温の温度条件における単相および二相消化の性能を比較し、二相消化法の処理性能の方が優れていることを見出した。これも重要な成果である。

第5章では、嫌気性消化法と好気性活性汚泥法を組み合わせることによって双方の利点を生かすANAMET嫌気性・好気性処理プロセスによるアルコール蒸留排水処理のためのパイロットプラント実験を行い、嫌気性接触法および好気性活性汚泥法の処理性能および最適操作条件を明らかにすると共に、ANAMETプロセスにおける物質収支およびエネルギー収支を検討し、固形物を多く含有する高濃度有機性排水に対して同プロセスは優れた処理性能を有することを示している。これは有用な知見である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、高濃度有機性工場排水処理に対する嫌気性処理プロセスの処理性能を明らかにし、処理水質向上のための活性汚泥法の組み合わせの有効性について実証したもので、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は、博士（工学）の学位論文として合格と認める。